

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE FECULARIA POR COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO UTILIZANDO EXTRATO DE *Moringa oleifera*

Eduardo Borges Lied⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental. Mestrando em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste de Paraná.

Márcia Regina Fagundes-Klen

Química Industrial. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá.

Márcia Teresinha Veit

Engenheira Química. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá.

Endereço⁽¹⁾: Av. Brasil, 1318, Caixa Postal 56, Centro, Foz do Iguaçu/Paraná, CEP 85.857-970. Fone: (45) 3578-7220. e-mail: lied.eduardo@gmail.com

RESUMO

As indústrias de processamento de mandioca, especialmente as fecularias, apresentam alto potencial poluidor devido ao lançamento de seus efluentes sobre os ecossistemas aquáticos. Dentre as principais características deste efluente destaca-se a alta carga orgânica e a presença do íon cianeto. O tratamento das águas residuárias de fecularias vem sendo feito predominantemente por lagoas de tratamento. Neste contexto o presente estudo avaliou a eficiência do tratamento de efluentes de fecularia por coagulação/floculação, para isso empregando extratos de sementes de *Moringa oleifera* (MO) como coagulante natural. Para os ensaios de coagulação/floculação foi utilizada a metodologia do planejamento experimental do tipo Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). As variáveis estudadas foram: concentração de MO e concentração da solução salina de cloreto de sódio (NaCl). As condições de ensaio foram as seguintes: velocidade de mistura rápida (VMR) de 100 rpm, com tempo de mistura (TMR) de 2 minutos; velocidade de mistura lenta (VML) de 20 rpm, com tempo de mistura (TML) de 10 minutos; o tempo de sedimentação foi de 60 minutos. As variáveis de resposta analisadas foram: Turbidez, DQO e Íon Cianeto. As condições operacionais otimizadas foram: concentração de MO de 2400 mg L⁻¹ e concentração salina de 1,0 mol L⁻¹. Nestas condições espera-se remover 89,16% de turbidez, 70,91% de DQO e 9,9% de íon cianeto.

PALAVRAS-CHAVE: coagulante natural; fecularia; planejamento experimental.

INTRODUÇÃO

As indústrias de processamento de mandioca, especialmente aquelas de produção de fécula (fecularias), apresentam alto potencial poluidor devido ao lançamento de seus efluentes, principalmente a manipueira, sobre os corpos d'água. Dentre as principais características deste efluente destaca-se a alta carga orgânica e a presença do íon cianeto, constituinte com alto potencial tóxico.

O tratamento das águas residuárias de efluentes de fecularias vem sendo feito predominantemente por lagoas de estabilização. No entanto, os sistemas de tratamento por processos biológicos apresentam limitações para efluentes com presença de cianetos. O íon cianeto é tóxico aos micro-organismos, sendo que em certas concentrações a influência é bastante significativa, comprometendo tanto a remoção do próprio cianeto como de outros compostos biodegradáveis.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo investigar a eficiência do tratamento de efluente de fecularia aplicando métodos de coagulação utilizando coagulante natural extraído de sementes de *Moringa oleifera*.

METODOLOGIA UTILIZADA

Caracterização do efluente

A água residuária utilizada nos ensaios foi coletada na entrada da estação de tratamento de uma típica fecularia localizada na região oeste do estado do Paraná, Brasil.

Para a caracterização do resíduo líquido foram avaliados os seguintes parâmetros físico-químicos: DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), Fósforo Dissolvido, Nitrogênio Total, Sólidos Totais, pH, Turbidez, Íon Cianeto, Zinco, Cádmio, Cobre e Ferro. Todos os parâmetros analisados seguiram metodologia descrita no Standard Methods (APHA, 1994).

Após a caracterização inicial, a água residuária foi homogeneizada, devidamente fracionada e armazenada sob condições de congelamento. As amostras necessárias para realização dos ensaios experimentais foram retiradas com antecedência para serem utilizadas à temperatura ambiente (23-25°C).

Preparação da Solução Coagulante de *Moringa oleifera*

As sementes de *Moringa oleifera* (MO) foram fornecidas pela Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, em parceria com a Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, Brasil.

Foram preparadas distintas soluções coagulantes de MO, soluções utilizando NaCl (Cloreto de Sódio) para extração dos componentes ativos das sementes, numa faixa de concentração de 0,3 a 1,7 mol/L, conforme Tabela 1.

As soluções coagulantes foram preparadas para uso imediato. Triturou-se em um “blender” 5 g de sementes de MO descascadas e 100 mL de soluções distintas de NaCl; em seguida estas soluções foram mantidas sob agitação durante 30 minutos e submetidas à filtração a vácuo. A proporção entre a quantidade de semente e as soluções salinas utilizadas foi obtida segundo Heredia & Sánchez-Martín (2009); Nkurunziza et al. (2009) e Madrona et al. (2010).

Ensaio de Coagulação/Floculação

Para a realização dos ensaios de coagulação/floculação foi utilizado um equipamento de Jar-Test Microcontrolado marca Milan, Modelo JT – 103 com capacidade para 6 (seis) testes simultâneos. Os ensaios seguiram a estrutura de um planejamento experimental do tipo DCCR (Delineamento Composto Central Rotacional), o qual é composto por um planejamento fatorial 2² completo (4 ensaios), um planejamento estrela (4 ensaios) e triplicata no ponto central (3 ensaios), totalizando 11 ensaios.

As variáveis investigadas foram a concentração do coagulante de M.O. e a concentração molar da solução salina. Na Tabela 1 são apresentadas as faixas de valores reais e codificados utilizados para os ensaios, e na tabela 2 é apresentada a matriz do planejamento experimental.

Tabela 1: Variáveis e níveis investigados no tratamento por coagulação/floculação.

Variável	Nível				
	-1,41	-1	0	1	1,41
Conc. MO	1977	2100	2400	2700	2823
Conc. Molar	0,3	0,5	1	1,5	1,7

Tabela 2: Matriz do planejamento experimental.

Variáveis		Ensaio										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Conc. (mg/L)	MO	2100 (-1)	2700 (1)	2100 (-1)	2700 (1)	2400 (0)	2400 (0)	2400 (0)	1977 (-1,41)	2823 (1,41)	2400 (0)	2400 (0)
Conc. (mol/L)	Molar	0,5 (-1)	0,5 (-1)	1,5 (1)	1,5 (1)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	1 (0)	0,3 (-1,41)	1,7 (1,41)

Para as condições do ensaio foi determinada uma velocidade mistura rápida (VMR) de 100 rpm para um tempo de mistura rápida (TMR) correspondente de 2 minutos, seguida de uma velocidade de mistura lenta (VML) de 20 rpm para um tempo de mistura lenta (TML) de 10 minutos. Após 60 minutos de decantação foram retiradas alíquotas do sobrenadante para posteriores análises de Turbidez, DQO e Íon Cianeto.

RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 3 apresenta os dados da caracterização da água residuária da fecularia.

Tabela 3: Resultados da caracterização físico-química da água residuária.

Parâmetro	Resultados	Limons (2008)	Lamo & Menezes (1969)
DBO (mgO₂/L)	1780	–	1400-34.300
DQO (mgO₂/L)	2240	32.000	6.280-51.200
Fósforo Total Dissolvido (mgPO⁴/L)	91,83	412	155-598
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	168	165,2	140-1.150
Sólidos Totais (mgST/L)	7.666	6.000	5.800-56.460
pH	4,1 – 4,8	5	3,8-5,2
Turbidez (NTU)	1350	–	–
Íon Cianeto (mgCN/L)	23	–	22,0-27,1
Zinco (mg/L)	0,345	0,962	–
Cádmio (mg/L)	0,01	0,041	–
Cobre (mg/L)	0,01	0,259	–
Ferro (mg/L)	7,456	–	–

A análise da Tabela 3 permite concluir que o efluente apresenta alta carga orgânica, com valores de DBO e DQO de 1450 mg/L e 2240 mg/L, respectivamente. Limons (2008) obteve uma concentração de DQO foi de 32.000 mg/L, superior a obtida no presente estudo, fato que pode estar associado a fatores como cultivo, clima e safra na mandioca processada.

Para os valores cianeto livre a faixa encontrada no presente estudo foi de 16,4 a 23 mg/L, valores similares ao obtidos por Lamo & Menezes (1979) que obtiveram valores mínimo e máximo na composição da água residuária da fecularia Fleishmann-Royal de Conchal (SP), sendo que para as concentrações de cianeto livre a faixa encontrada foi de 22,0 a 27,1 mg/L.

Observa-se na Tabela 3 que os valores obtidos de metais analisados estavam dentro dos padrões de lançamento em corpos receptores segundo Resolução 375 do CONAMA.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados obtidos no planejamento experimental adotado para os ensaios de coagulação/floculação em termos da eficiência da remoção após período de sedimentação de 60 minutos.

Tabela 4: Eficiência de Remoção, em %.

Ensaio	Turbidez	DQO	Íon Cianeto
1	84,44%	45,09%	4,78%
2	85,33%	47,77%	7,39%
3	84,81%	22,32%	9,13%
4	85,70%	15,18%	5,22%
5	85,63%	65,63%	8,70%
6	86,00%	70,98%	9,13%
7	86,22%	64,29%	13,04%
8	85,85%	32,59%	7,83%
9	89,19%	34,38%	4,78%
10	85,63%	28,57%	3,91%
11	85,26%	27,23%	3,48%

Segundo a Tabela 4 a remoção de turbidez revela a possibilidade de alcançar uma eficiente redução, conforme se observa no ensaio 7 (2400 mg/L e 1 mol/L), que foi de 89,19%. Da mesma forma verifica-se que para remoção de DQO a faixa de remoção foi de 15,18% (ensaio 4) a 70,98% (ensaio 6), valor também significativo.

Resultado similar de remoção de DQO foi obtido por Oliveira et al. (1999) ao utilizarem Policloreto de Alumínio, os quais obtiveram uma taxa de redução de DQO em torno de 86%.

Entretanto, Lima et al. (2009) ao utilizarem tanino e Polipan como agentes coagulante/floculante obtiveram uma remoção de DQO de 91% em condições de pH alcalino (8,0).

Considerando as eficiências de remoção de DQO entre os diferentes agentes coagulantes utilizados verifica-se que o tanino e o policloreto de alumínio apresentam valores superiores aos obtidos no presente estudo. Entretanto, o uso de *Moringa oleifera* com coagulante apresenta vantagens como baixo custo e a não necessidade de correção do pH do efluente a ser tratado, o que representa uma vantagem operacional e financeira importante para os sistemas de tratamento.

Conforme Tabela 3, verifica-se que houve remoção do íon cianeto na faixa de 3,48% a 13,04%, valores considerados baixos, desta forma o tratamento primário de coagulação/floculação utilizando a *Moringa oleifera* mostra-se insuficiente para remoção de íon. Assim, observa-se a necessidade de um subsequente tratamento secundário que possa remover o íon cianeto do efluente gerado em feculárias.

Xu et al. (2005) conduziram os ensaios de coagulação utilizando distintas concentrações do PAC (0,0 a 2,5 g/L), e obtiveram uma remoção de cianeto não significativa também, onde a concentração final foi de 3154 mg/L, contra uma concentração do efluente bruto de 3180 mg/L, isto é menor que 1%.

Na Figura 1 são apresentadas as superfícies de resposta para remoção de Turbidez e DQO.

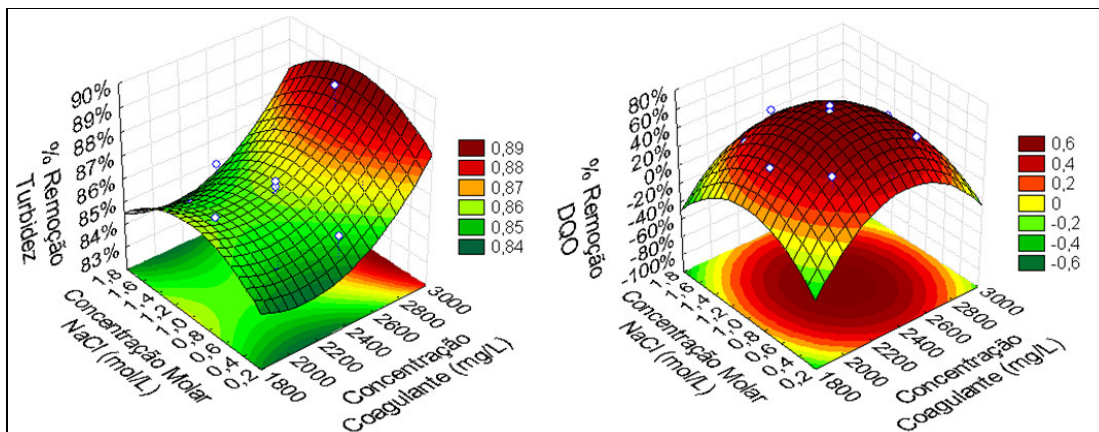


Figura 1: Superfície de resposta para remoção de turbidez (à esquerda) e DQO (à direita).

A Figura 1 apresenta o efeito da concentração de coagulante e da concentração molar da solução salina sobre a remoção de Turbidez e DQO. Verifica-se que as melhores condições de remoção de DQO e Turbidez residem em torno de $1,0 \text{ mol L}^{-1}$. Em termos de concentração de Moringa o valor foi em torno de 2400 mg L^{-1} para DQO e 2823 mg L^{-1} para Turbidez.

Na Figura 2 são apresentadas a superfície de resposta e o gráfico de contorno para remoção de íon cianeto.

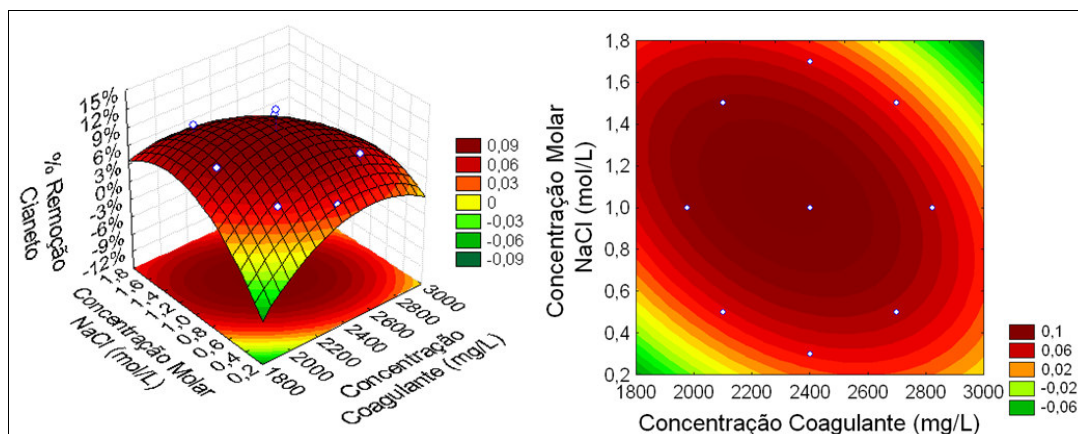


Figura 2: Superfície de resposta (à esquerda) e o gráfico de contorno (à direita) para remoção de Íon Cianeto.

Verifica-se por meio da Figura 2 que as melhores condições de remoção residem nas faixas de $0,8$ a $1,4 \text{ mol L}^{-1}$ para a concentração molar da solução salina e 2000 a 2500 mg L^{-1} para efeitos da concentração do coagulante de Moringa.

CONCLUSÕES

O tratamento por coagulação é eficiente na redução dos parâmetros da Turbidez ($89,19\%$) e DQO ($70,98\%$) da manupieira. Entretanto, em termos de íon cianeto os resultados obtidos foram pouco expressivos, de modo que o melhor ensaio foi capaz de reduzir apenas $13,04\%$. Para todos os parâmetros as maiores remoções residiram na faixa de concentração do coagulante de 2400 mg/L e concentração molar de $1,0 \text{ mol/L}$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LIMA, R. A. et al. *Tratamento físico-químico da manipueira*. In: *XIII Congresso Brasileiro de Mandioca*, p.1210-1216, 2009.
2. PRADO, M. R. & PAWLOWSKY, U. *Alternativas para o tratamento de resíduos líquidos em fecularias*. *Brasil Alimentos*, n.22, p.30-34, 2003.
3. XU, Z. et al. *Treatment of praziquantel wastewater using the integrated process of coagulation and gas membrane absorption*. *Water Research*, n.39, p.2189-2195, 2005.
4. HEREDIA, J. B.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J. *Removal of sodium lauryl sulphate by coagulation/flocculation with Moringa oleifera seed extract*. *Journal of Hazardous Materials*, n. 164, p. 713-719, 2009.
5. MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. *Study of the effect of saline solution on the extration of the Moringa oleifera seed's active component for water treatment*. *Water Air Soil Pollut*, published online: January, 2010.
6. NKURUNZIZA, T.; NDUWAYEZU, J. B.; BANADDA, E. N.; NHAPI, I. *The effect of turbidity levels and Moringa oleifera concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment*. *Water Science & Technology*, n. 59, p. 1551-1558, 2009.